



VOYAGER

Fra grundskole til erhvervsvalg



KEMI VED KYSTEN



KEMI VED KYSTEN

I Kærgård Klitplantage ligger en gigantisk stor generationsforurening. Region Syddanmark renser stadig op, bid for bid. Hvis pengene findes til at færdiggøre oprensningsarbejdet, skal området stadig være lukket af for almindeligt brug/badende gæster i 10-15 år frem. Hvis vi ikke vil sende forureningen videre til næste generation, er det derfor vigtigt at arbejdet i Kærgård Klitplantage fortsætter. Og her kan fagene kemi og dansk bidrage til en forståelse og formidling af dette komplekse emne, da de to fag tværfagligt supplerer hinanden godt i en formidlingsopgave.

Hvis I ønsker at bruge ressourcepersoner nævnt i materialet, kan I kontakte Vardemuseerne (www.vardemuseerne.dk) – eller I kan gøre brug af jeres eget lokale museum, hvis I bor i nærheden af en anden generationsforurening.

Ønsker I mere undervisningsmateriale om forureningen i Kærgård Klitplantage, så er følgende forløb at finde på voyagerscience.dk:

Kemikalier i Kærgård

Fortidens fejltagelser - Nutidens forhindringer

INDHOLD

INDHOLD

Beskrivelse og materialeliste

Lek. 1: Danskfagligt oplæg

Lek. 2: Kemiske processer i relation til Kærgård

Lek. 3: Kemiske og biologiske processer i relation til Kærgård

Lek. 4: Tværfaglig ekskursion

Lek. 5-14: Tværfaglig projektarbejde med artikelfremstilling

Lek. 15+16: Tværfaglig produktfremlæggelse

Kemisk appendiks

BESKRIVELSE OG MATERIALER

Kærgård Klitplantage er et område, der ligger mellem Vejers og Henne Strand i Vestjylland. Området er blevet kendt for at være meget forurenet. Det skyldes, at Grindstedværket – helt lovligt – udledte spildevand og kemisk affald i perioden 1956-1973. De kemiske forbindelser, Grindstedværket udledte, var især klorerede organiske forbindelser, og i dag mener man, at Grindstedværket samlet set har udledt 300.000 tons giftigt spildevand. Gennem de sidste ca. otte år er man kommet frem til, at en kombination af to oprensningsmetoder virker godt i Kærgård Klitplantage - en kemisk metode og en biologisk metode.

Ved den kemiske metode tilsættes kemikalier til forureningen, og disse kemikalier starter nedbrydningen af de organiske forureningskomponenter ved hjælp af redoxreaktioner. Derved skabes et miljø, der er mere bakterievenligt, og det er derfor muligt at starte den biologiske nedbrydning.

Ved den biologiske metode tilsættes der en bakteriekultur, der består af særligt udvalgte og gensplejsede bakterier, der kan nedbryde de klorerede forbindelser. Denne biologiske metode er skånsom overfor miljøet og følger i nogen grad forureningens bevægelse nedstrøms i gruberne.

Vores undervisningsprojekt om Kærgård Klitplantage vil forløbe over ca. en måneds tid. Jeres opgave bliver at udarbejde artikler, hvor I omsætter kemisproget til et hverdagssprog, der kan forstås af folk, som aldrig har haft kemi på højt niveau. Artiklen kan fx skrives til Samvirke, og udover den sproglige formidling, er en del af opgaven også at få artiklen til layoutmæssigt at ligne en artikel fra Samvirke samt at fremstille en figur, der kan formidle kemien til læseren.

Materialaliste:

Varmt tøj, gode støvler og mobilkamera til ekskursion

Computer

Evt. gamle udgaver af Samvirke til inspiration

LEKTION 1: Danskfagligt oplæg

Som optakt til emneugen om Kærgård Klitplantage introduceres eleverne for:

- Emnet og programmet for projektugen.
- Det konkrete produkt, som arbejdet skal munde ud i, med den efterfølgende mundtlige fremlæggelse i grupper af produktet.
- De videnskabsteoretiske begrebspar, der kan indfange hvordan arbejdet tilrettelægges.
- Hvordan danskfaget kan få en rolle i arbejdet med Kærgård Klitplantage.

Danskfaget kommer i projektugen til syne som værktøjet, som kemien skal behandles med. Derfor gennemgås genren ”populærvidenskabelig artikel” og dens karakteristika samt på hvilke niveauer, elever skal træffe valg i deres formidling - bl.a. vinklingen af emnet, rubrik, underrubrik, blikfang, ordvalg, komposition, opsætning af fotografier og faktabokse, så underholdningselementet sikres.

Opgaven lyder, at eleverne i forlængelse af et besøg i Kærgård Klitplantage i grupper på 4-5 skal udarbejde en populærvidenskabelig artikel på ca. 4 sider med layout, så det ligner en rigtig artikel fra Samvirke, og hvor indholdet afstemmes i forhold til bladets målgruppe. Valget af en populærvidenskabelig artikel betyder, at eleverne skal træffe en række valg om, hvordan de formidler den avancerede kemi bag Kærgårds forurening og oprensning, så læserne får indblik i kompleksiteten, uden at forståelsen går tabt. Med opgaven følger desuden det benspænd, at eleverne selv skal tilvirke en figur, der indfanger oprensningsprocessen.

I arbejdet inddrager eleverne relevante videnskabsteoretiske begrebspar i forhold til kemi som et naturvidenskabeligt fag. Her har vi udvalgt den ideografiske og nomotetiske metode, som kan give overblik over elevernes måde at gå til værks, arbejde og søge svar i projektet.

LEKTION 2: KEMISKE PROCESSER I RELATION TIL KÆRGÅRD

I dette modul gennemgås et kort oplæg omkring Kærgård Klitplantage forureningshistorie, principskitse af forureningsforholdene og hvilke skadelige organiske stoffer, der kan findes i grund- og badevandet omkring plantagen.

I samme lektion bliver der i grupper arbejdet med spørgsmål omhandlende struktur, navngivning, funktionelle grupper og faren ved de stoffer, der findes i grundvandet og vandet omkring plantagen. Der bliver ligeledes arbejdet med reaktionstyperne substitutions-, additions-, oxidations- og kondensationsreaktioner for at vise nedbrydningsmulighederne samt kompleksiteten i hele systemet. Der lægges vægt på, at oprensningen skal gøres på en bestemt måde for ikke at få dannet nye og flere miljøskadelige stoffer under nedbrydning.

Oprensningsmetoderne er beskrevet i det kemiske appendiks, som du finder bagerst i materialet.

LEKTION 3: KEMISKE OG BIOLOGISKE PROCESSER I RELATION TIL KÆRGÅRD

I dette modul gennemgås kombinationen af den kemiske og den biologiske nedbrydning af de miljøskadelige stoffer, samt hvilke optimale forhold, der kan give den bedst mulige oprensning. Herunder arbejdes med spørgsmål om abiotisk og biotisk nedbrydning af klorerede opløsningsmidler samt reduktiv deklorering og grænseværdier. Der bliver lagt vægt på, at oprensningen skal gøres via først kemisk tilsætning af kemikalierne persulfat og brintoverilte. Bagefter kan den biologiske oprensning laves via gensplejsede bakterier, der kan tåle lavere pH-værdi.



LEKTION 4: TVÆRFAGLIG EKSKURSION

I fjerde modul besøger vi forureningsgrunden i Kærgård Klitplantage. Her vil I blive vist rundt af en formidler eller Naturvejleder fra Vardemuseerne. De har et samarbejde med lederen på oprensningen, Jørgen Fjeldsø Christensen, så formidlingen kan foregå forsvarligt. Han er geolog og arbejder i Region Syddanmark.

I vil høre om, hvordan området fungerer som arbejdsplads samt om, hvordan den nyeste forskning bliver brugt til at oprense så effektivt, billigt og miljøvenligt som muligt. Formidleren eller naturvejlederen vil her fortælle og give mulighed for, at eleverne kan stille spørgsmål. Spørgsmålene kan gå på alt fra geologi, kemi, historisk viden om dumpningen af gift i Kærgård til hvordan, der fortsat findes midler til oprensningen.



EKSKURSION

LEKTION 5-14: TVÆRFAGLIG ARTIKELFREMSTILLING

Efter besøget i Kærgård Klitplantage starter arbejdet i grupperne med at indkredse ideer til formidlingsopgaven og at opliste hvilket indhold, der skal med og hvor meget det skal fylde. Der er lærerassistance i dansk og kemi i de planlagte lektioner, som eleverne kan trække på og få sparring på deres ideer fra. Det vil være en fordel at finde gamle Samvirke-blade, som eleverne kan søge inspiration i. Arbejdsprocessen er kendetegnet af, at de første dage går med at indkredse kemien og historien bag forureningen og de sidste dage går med at få indholdet skrevet og layoutmæssigt sat op.

LEKTION 15+16: TVÆRFAGLIG PRODUKTFREMLÆGGELSE

Til fremlæggelse af artiklen er holdets undervisere til stede plus eventuelt en eller flere øvrige ressourcepersoner, der har været med undervejs. Grupperne har ca. 8 minutter til at fremlægge deres artikler. Fremlæggelsen har fokus på at forklare kemien fagligt og derefter vise, hvordan de i artiklen har formidlet emnet via refleksioner over de valg, som de har truffet omkring formidlingen af oprensningen af Kærgård Klitplantage. Figuren, som eleverne har fremstillet til artiklen, skal også præsenteres. Derefter er der opklarende spørgsmål og feedback. Tidsforbruget pr. gruppe er ca. 30 minutter i alt.

NEDBRYDNING AF FORURENENDE STOFFER I KÆRGÅRDS UNDERGRUND

KEMISK APPENDIKS TIL FORLØB OM FORURENING I KÆRGÅRD

FORORD: TALER DU KEMISK?

Projekt VOYAGER arbejder med det virkelighedsnære i formidling og undervisning. Den vinkel har vi valgt også at benytte i dette Kemiske appendiks.

Indholdet, tekst, kemi, opgaver og forsøg, er udarbejdet i samarbejde med undervisere og laboranter på Aalborg Universitet Esbjerg. Vi bruger derfor, igennem hele dette appendiks, det sprog, de navne og de betegnelser, som de bruger i deres daglige arbejde. Det betyder at I vil opleve at ikke alle ord og navne lever op til de IUPAC standarder, som I normalt kender fra jeres teoretiske undervisning.

Vi har valgt at fastholde virkelighedens sprog, det sprog som i det daglige benyttes på laboratorier og i virksomheder. Det er vores håb, at det vil ligge op til drøftelser imellem lærere og elever om sprogbrug i faget kemi.

INDHOLD

Del 1: Nedbrydning af forurenende stoffer i Kærgårds undergrund

Del 2: Oxidation i Kærgård

Opgave 1

Opgave 2

Del 3: Forsøg

Del 4: Bakteriel nedbrydning i Kærgård

Opgave 2

Del 5: Facit til opgaverne

NEDBRYDNING AF FORURENENDE STOFFER I KÆRGÅRDS UNDERGRUND

Region Syddanmark og deres samarbejdspartnere har valgt at benytte både en kemisk og en biologisk metode i oprensningen. Forsøg har vist, at de to metoder komplementerer hinanden optimalt således, at man opnår den største effekt, med det mindst mulige forbrug af resurser.

Mange af de uønskede stoffer i Kærgårds gruber kan nedbrydes ved kemisk oxidation. Oxidation er den ene halvdel af de såkaldte redoxreaktioner. Den anden kaldes reduktion. De defineres således, at en oxidation af et stof er ensbetydende med en afgivelse af elektroner, mens en reduktion af et stof er lig en optagelse af elektroner. At reduktion er lig med optagelse kan virke lidt bagvendt, men det skyldes, at afgivelse af elektroner ofte er forbundet med et stofs reaktion med ilt, hvilket har givet anledning til betegnelsen oxidation.

Du kan læse mere om redoxreaktioner i en kemibog fx *Basiskemi C* af Helge Mygind mfl. side 172-188, her findes også opgaver til emnet.

Kemisk rensning er mest effektiv ved høje mængder af forurening, så formålet er her at fjerne mest muligt af den nemmest tilgængelige del af forureningen til niveauer, hvor bakterier kan tage over. Efterfølgende benytter man sig af den biologiske oprensning til at komme helt i mål.

For at biologisk oprensning kan ske effektivt, er det vigtigt, at man først har fjernet den gruppe af stoffer, som kaldes sulfonamider. Disse er en gruppe af syntetiske antibiotika, som fortsat findes i undergrunden i Kærgård, og kan nedbrydes ved hjælp af kemisk oxidation.



Arbejdere i beskyttelsesdragter og med friskluftmasker borer ned i gruberne i Kærgård.

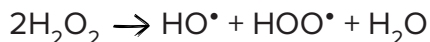
Som oxidationsmiddel bruges en modificeret udgave af Fentons reagens, som er specielt udviklet til oprensning af forurenet jord og grundvand, og som virker effektivt mod netop de stoffer og under de forhold, som findes i Kærgårds undergrund.

Fentons reagens blev oprindeligt udviklet af Henry John Horstman Fenton i 1890'erne til brug i organisk kemi, og er siden blevet videreudviklet til brug i rensningsprocesser. Reagensen består af en sur opløsning af hydrogenperoxid (H_2O_2) tilsat jern(II)-ioner (fx fra jernsulfat (FeSO_4)).

Fentons processen går ud på at få dannet meget reaktive radikaler, der, som stærke oxidanter, kan nedbryde organisk forurening. Kemien i Fentons processen er opsummeret i reaktion 1 og 2. I processen katalyserer jern(II)-ioner (Fe^{2+}) dannelsen af hydroxyl-radikaler ($\text{HO}^\bullet$) ved at bryde peroxid-bindingen i hydrogenperoxid (reaktion 1). Jern(II)-ionerne oxideres til jern(III) (Fe^{3+}), og som biprodukt dannes hydroxid-ioner (OH^-), som i sur opløsning reagerer med oxonium (H_3O^+) til vand (H_2O) (reaktion 2). Jern(III)-ionerne kan også reagere med hydrogenperoxid, hvorved jern(II) regenereres og perhydroxyl-radikalet ($\text{HOO}^\bullet$) dannes (reaktion 3).



Nettoreaktionen bliver altså:



Hydroxyl-radikalet er den primære oxidant, og et hydrogenperoxid-molekyle giver et hydroxyl-radikale. Perhydroxyl-radikalet bidrager dog også lidt til nedbrydning af forureningen.

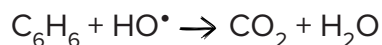
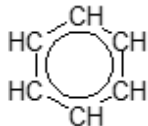
OXIDATION I KÆRGÅRD

Da der figurerer mere end 1300 aktivstoffer i gruberne i Kærgård, giver det ikke mening at gennemgå dem alle, men nedenfor præsenteres to eksempler på oxidation af problematiske stoffer til mere uskadelige stoffer.

For begge reaktioner gælder det, at der vises den ikke-afstemte fuldstændige nedbrydning (oxidation) af stofferne til kuldioxid og uskadelige salte ved reaktion med hydroxylradikaler. Processen er analog til en fuldstændig forbrændingsreaktion, men foregår i vandig opløsning.

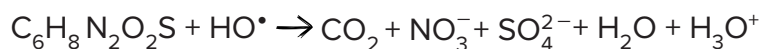
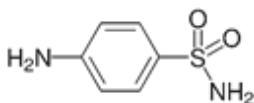
Eksempel 1: Benzen

Benzen er en cirkulær aromatisk karbonhydrid, som vi finder i væsentlige koncentrationer i gruberne. Der findes mange andre lignende stoffer, og du kan læse mere om aromatiske karbonhydrider i en kemibog, fx *Basiskemi C* af Helge Mygind mfl. side 172-188, hvor der også findes opgaver til emnet.



Eksempel 2: Sulfanilamid

Sulfanilamid er et sulfonamid antibiotika, som også findes i høje koncentrationer i grundvandet i gruberne i Kærgård.



OPGAVER

Opgave 1:

Afstem de to redox-reaktioner i sur opløsning. Du kan tage udgangspunkt i oxidationstal -1 for oxygen i hydroxyl-radikalet, -1/3 for karbon i sulfanilamid, -3 for nitrogen og +4 for svovl også i sulfanilamid.

Opgave 2:

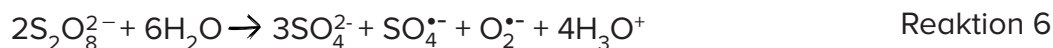
Forestil dig, at du skal rense 100 m³ grundvand, som er forurenat med 5 g/L organisk forurening, repræsenteret ved benzen (35 vægt/volumen %) og sulfanilamid (65 vægt/volumen %), med den beskrevne Fentons proces.

Beregn den støkiometriske mængde af hydrogenperoxid (i ton), der skal tilsættes for at nedbryde forureningen med hydroxyl-radikaler alene.

Hydrogenperoxid tilsættes fra palletanke (1 m³) i en vægt% på 35% vandig opløsning (densitet: 1,13 kg/L). Hvor mange palletanke skal indkøbes til at nedbryde forureningen?

I dag arbejder forskerne også med andre oxidanter, som fx peroxodisulfat (S₂O₈²⁻) ioner, som kan have en endnu bedre effekt på nedbrydningen af de forurenende stoffer. Du kan finde videoer på internettet om denne forskning, fx her: https://youtu.be/n_Fvt3sDs3Q

Kemien ved brug af peroxodisulfat er analog med Fentons processen, da peroxid-bindingen også her skal brydes for at danne kraftigt oxiderende persulfat-radikaler. Dette kalder man aktivering, og det kan ske på tre forskellige måder. Ved temperaturer over 35 °C kan varmekpåvirkningen i sig selv bryde peroxid-bindingen (reaktion 4) og danne radikaler. Reaktionshastigheden øges ved stigende temperatur ved den velkendte sammenhæng givet ved Arrhenius' lov. Jern(II)-ioner kan som i Fentons også aktivere peroxodisulfat ved selv at blive reduceret til jern(III) (reaktion 5), og endelig kan tilsætning af stærk base aktivere peroxodisulfat. Basisk aktivering er den mest anvendte i oprensning af forurenat jord og grundvand. Den præcise kemi i denne form for aktivering er ikke helt forstået, men bedste nuværende bud er opsummeret i reaktion 6 og 7 og resulterer i produktionen af en potent oxidativ blanding af både sulfat- og hydroxyl-radikaler.



FORSØG

Dette forsøg illustrerer brug af Fentons processen til rensning af forurenat vand ved kemisk oxidation. Som model for forurenat vand bruges en opløsning af blå frugtfarve, der gradvist mister farven efterhånden som de organiske stoffer nedbrydes. Forsøget kan gennemføres med og uden brug af spektrofotometer til måling af opløsningens absorbans ved en specifik bølgelængde. Er en sådan ikke til rådighed, fremstilles en blind-opløsning uden blå farve, som der kan sammenlignes med.

Udstyr

Erlenmeyer kolber i 100 mL, 250 mL, 1000 mL

5 mL pipette

100 mL måleglas

Magneter og 2 magnet-omrørere

Stopur

UV/VIS spektrofotometer (hvis muligt)

Reagenser

Brintperoxid ca 1 M (Ca. 3% opløsning)

FeSO_4 0,1 M (2,78 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ + 1mL H_2SO_4 , koncentreret til 100 mL demineraliseret vand)

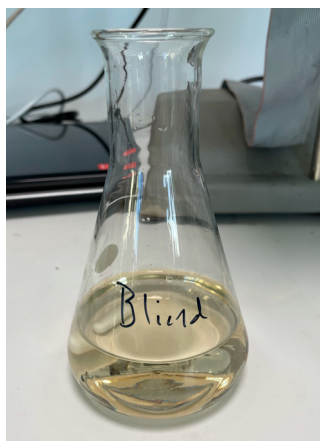
Blå frugtfarve

Forurenat vand

Som model for forurenat vand bruges i dette forsøg blå frugtfarve.



Forureningsopløsning



Blind opløsning

FORSØG

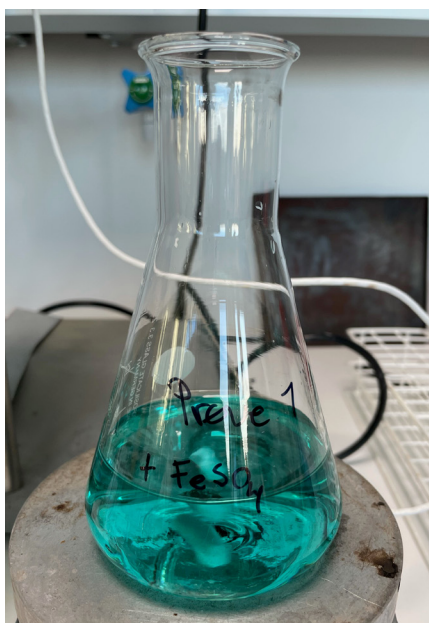
Fremstil en opløsning med blå frugtfarve 2 mL/ L demineraliseret vand (forureningsopløsning).

Fremgangsmåde uden brug af spektrofotometer:



Først fremstilles en "blind" opløsning uden forurening:
75 mL H_2O_2 + 50 mL dem vand + 5 mL FeSO_4 .
Denne opløsning har en svag gulbrun farve. (Skyldes Fe^{3+})

Dernæst fremstilles to testopløsninger i hver sin kolbe, hvor brintperoxid-reagensen og forureningsopløsningen blandes: 75 mL H_2O_2 opløsning + 50 mL forureningsopløsning



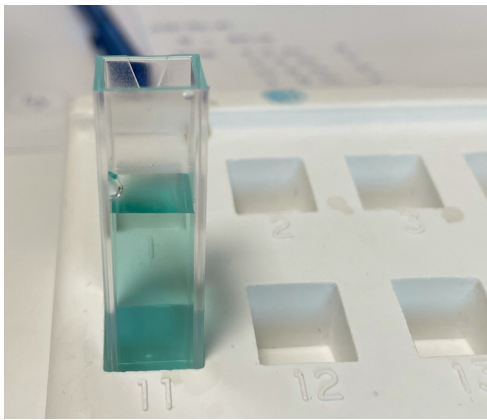
De to kolber sættes nu på hver sin omrører med en magnet. Blind-opløsningen skal ikke omrøres, men skal kun bruges som sammenligningsfarve.

Til den ene testopløsning tilsættes 5 mL FeSO_4 -opløsning og stopuret startes. Rensning med Fentons processen er hermed startet, og den gradvise nedbrydning af det blå farvestof kan nu følges. Når farven er forsvundet og test-opløsningen har helt samme farve som blind-opløsningen, er forsøget færdigt. Bemærk om farven er forsvundet fra testopløsningen uden tilsætning af FeSO_4 . Dette viser, at hydroxyl-radikalerne er meget kraftigere oxidanter end brintperoxid alene.

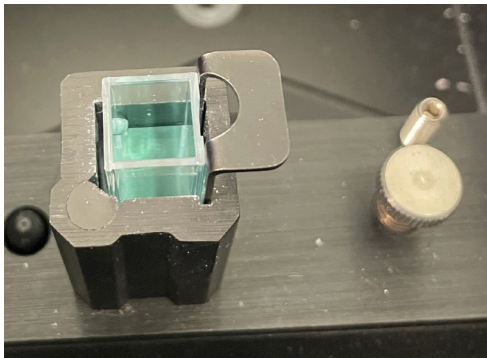
*De to forureningsopløsninger klar til tilsætning
Prøve 1 på magnetomrøreren*

FORSØG

Fremgangsmåde med brug af spektrofotometer:



Kuvette med prøvæske



Kuvette i spektrofotometer

Hvis spektrofotometeret kan scanne, scannes forureningsopløsningen fra 800 nm – 450 nm og målebølgelængden for maks. absorbans bestemmes.

Indstil spektrofotometeret til at aflæse absorbans (Abs) ved den ønskede bølgelængde (ca. 630 nm). Der anvendes en glaskuvette eller en engangskuvette. Den skal kunne rumme ca. 3 mL

Nulstil spektrofotometeret på demineraliseret vand.

I kuvetten blandes 1,5 mL H_2O_2 1 M + 1 mL forureningsopløsning, og absorbansen aflæses. Tilsæt 0,2 mL FeSO_4 til test-opløsningen i kuvetten, mens den sidder i spektrofotometeret, så det blandes op. Aflæs umiddelbart efter absorbansen. Aflæs herefter absorbansen med 30 sek. interval indtil absorbansen ikke falder yderligere.

Absorbansen vil aldrig falde helt til 0, pga. tilstedeværelse af Fe^{3+} , der giver en svag gulbrun farve.

Mål evt. som sammenligning absorbansen på en prøve, hvor forureningsopløsningen er erstattet af demineraliseret vand.

Gentag hele forsøget uden tilsætning af FeSO_4 .

BAKTERIEL NEDBRYDNING I KÆRGÅRD

Trikllorethylen (TCE ; C_2HCl_3), eller bare trikllorethen, er et af de klorerede opløsningsmidler, der er skrevet meget om i medierne i forbindelse med forureningen fra Grindstedværket. Stoffet er i kemisk forstand en organisk halogenforbindelse, hvor kloratomer har erstattet hydrogenatomer i en kulbrinte via en substitutionsreaktion.

De klorholdige opløsningsmidler som TCE, er gode til at opløse fx fedtstoffer og andre upolære stoffer, og er samtidigt ikke nær så brandbare som fx benzin eller andre alkaner/alkener. Derfor har de gennem tiden fundet vej til mange anvendelsesområder. Desværre opkoncentreres de klorerede opløsningsmidler i fedtholdigt væv, som fx findes i nervesystemet, hvor de på sigt kan medføre hjerneskader.

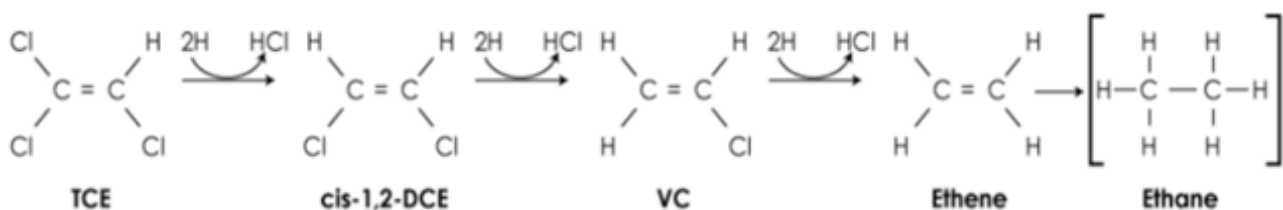
Du kan læse mere om organiske halogenforbindelser i en kemibog, fx *Basiskemi B* af Helge Mygind mfl. side 130-133. Her findes også opgaver til emnet.

Selvom stoffer som TCE kan nedbrydes ved kemisk oxidation, sker dette kun i mindre grad, fordi klorerede opløsningsmidler er meget lidt opløselige i vand og derfor primært findes i en såkaldt fri væskefase, der ikke er blandbar med vand.

Fortsættes >>



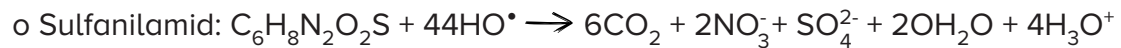
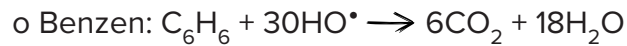
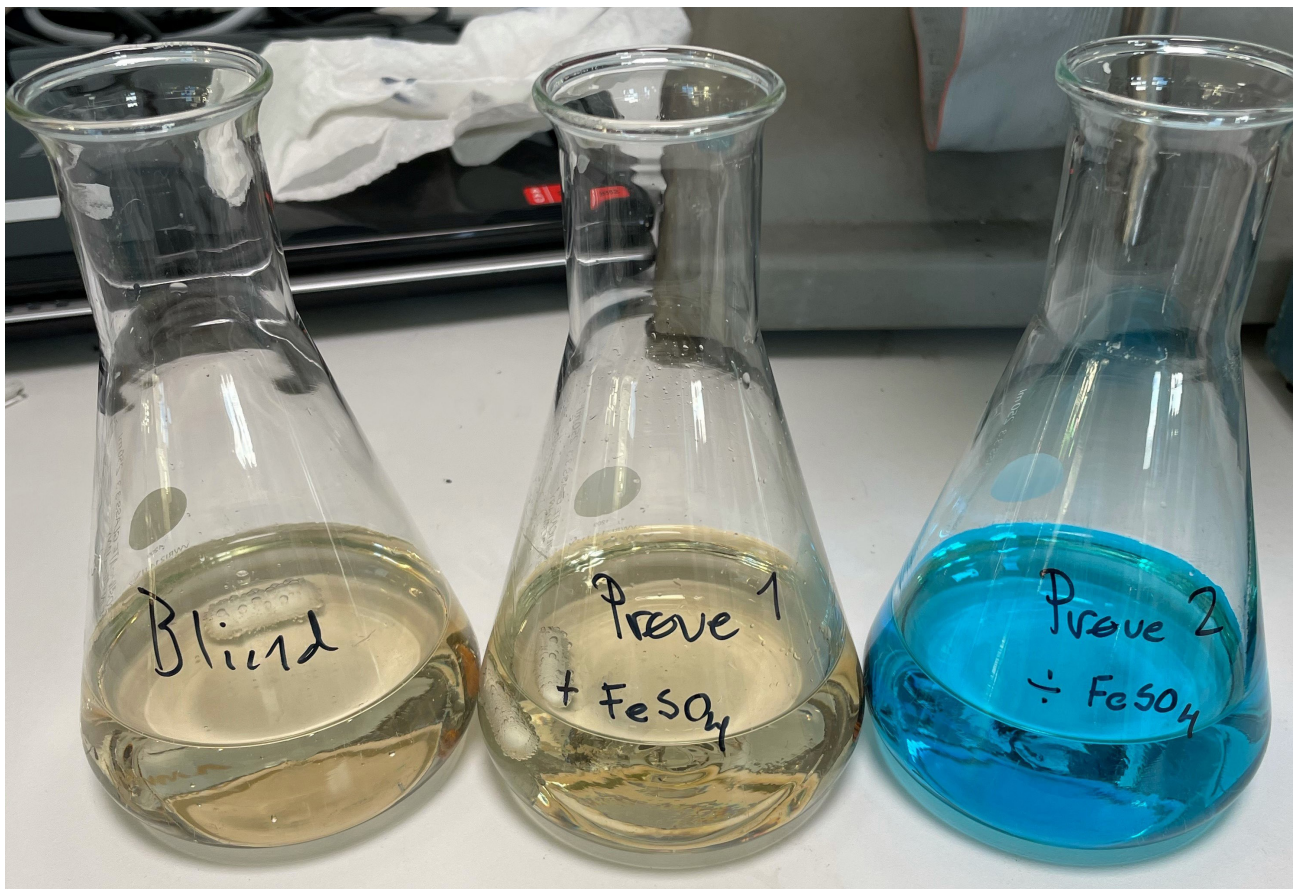
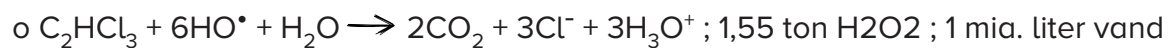
Derfor satser man på en bakteriel nedbrydning af disse stoffer, først ved at fremme den naturligt forekommende bakterielle nedbrydning af bl.a. de klorerede opløsningsmidler og sidenhen ved tilsætning af specifikke bakterier (Dehalococcoides) for at fjerne især vinylklorid (VC), som de klorerede opløsningsmidler nedbrydes til. Naturlige bakterier kan ved såkaldt reduktiv deklorering nedbryde klorerede opløsningsmidler ved at udskifte kloratomerne med hydrogen, men kun indtil der er et kloratom tilbage (vinylklorid). Her går den naturlige proces i stå, da bakterierne mangler generne, der koder for de enzymer, der skal substituere det sidste kloratom. Vinylklorid er et giftigere stof end TCE, og den endelige nedbrydning til uskadeligt ethen og ethan kræver tilstedeværelsen af bakterier af familien Dehalococcoides. Disse er ikke naturligt til stede i Kærgård i høj nok population, så de tilsættes sammen med næringsstof til undergrunden for at nå helt i mål med den biologiske efterpolering. Den reduktive deklorering er opsummeret i Figur 1:



Opgave 3:

TCE kan også nedbrydes kemisk ved reaktion med hydroxyl-radikaler produceret ved Fentons processen. Prøv selv at opskrive den afstemte reaktion for fuldstændig nedbrydning af TCE til karbondioxid og klorid. Hvor meget hydrogenperoxid (i ton) skal der støkiometrisk bruges til at fjerne 1 ton TCE? Den tilladte grænseværdi for TCE i vand er ca. 1 µg/L. Hvor mange liter vand kan 1 kg TCE forurene?

OPGAVE

FACIT TIL OPGAVERNE:**Løsning opgave 1:****Løsning opgave 2:****Løsning opgave 3:**

De tre Erlenmeyerflasker med opløsningerne efter forsøget.